



(10) **DE 10 2016 110 965 B4** 2019.03.14

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2016 110 965.7**
(22) Anmeldetag: **15.06.2016**
(43) Offenlegungstag: **21.12.2017**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **14.03.2019**

(51) Int Cl.: **H01L 31/0224** (2006.01)
H01L 31/0445 (2014.01)
H01L 31/18 (2006.01)
H01L 21/208 (2006.01)
H01L 21/283 (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
**Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und
Energie GmbH, 14109 Berlin, DE**

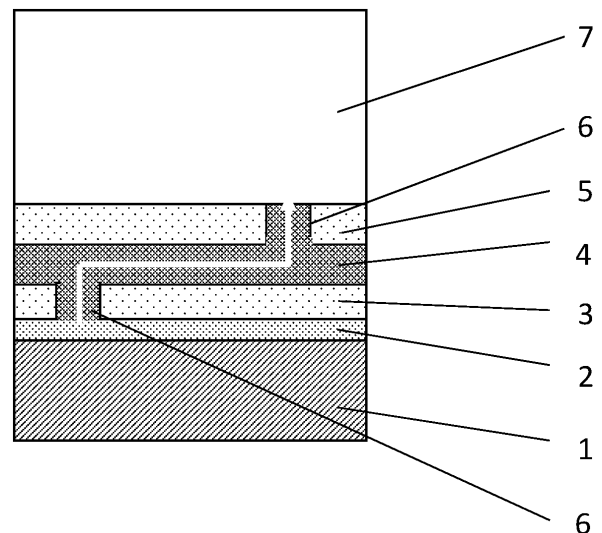
(56) Ermittelter Stand der Technik:

| | | |
|-----------|-------------------------|-----------|
| US | 2007 / 0 295 399 | A1 |
| US | 2009 / 0 301 543 | A1 |
| US | 2012 / 0 060 908 | A1 |

(72) Erfinder:
**Stannowski, Bernd, Dr., 12587 Berlin, DE; Gabriel,
Onno, Dr., 10247 Berlin, DE; Preissler, Natalie,
12159 Berlin, DE; Schlatmann, Rutger, Prof. Dr.,
14195 Berlin, DE**

(54) Bezeichnung: **Halbleiter-Bauelement mit vorder- und rückseitiger Elektrode und Verfahren zu dessen Herstellung**

(57) Hauptanspruch: Halbleiter-Bauelement mit vorder- und rückseitiger Elektrode (2), aufweisend auf einem Substrat (1) mindestens eine Kontaktschicht für Ladungsträger eines Leitfähigkeitstyps als rückseitige Elektrode (2), auf der mindestens eine aktive Halbleiterschicht (7) und eine vorderseitige Elektrode angeordnet sind, und zwischen rückseitiger Elektrode (2) und der mindestens einen aktiven Halbleiterschicht (7) mindestens eine Zwischenschicht (3, 5) angeordnet ist, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen rückseitiger Elektrode (2) und der mindestens einen aktiven Halbleiterschicht (7) mindestens eine erste (3) und eine zweite (5) elektrisch isolierende dielektrische Zwischenschicht und zwischen diesen angeordnet mindestens eine elektrisch leitfähige Schicht (4) angeordnet sind und wobei die zwei elektrisch isolierenden dielektrischen Schichten (3, 5) Kontaktöffnungen (6) aufweisen und wobei die Kontaktöffnungen (6) der zweiten elektrisch isolierenden dielektrischen Schicht (5) versetzt angeordnet sind zu denen der ersten elektrisch isolierenden dielektrischen Schicht (3), so dass eine Diffusion von Verunreinigungen aus der rückseitigen Elektrode (2) in die aktive Halbleiterschicht (7) vermindert ist und so dass die rückseitige Elektrode (2), die ganzflächig ausgebildet ist, und die mindestens eine aktive Halbleiterschicht (7) elektrisch leitend verbunden sind und wobei die elektrisch leitfähige Schicht (4) aus einem höher dotierten Halbleiter als die mindestens eine ...



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Halbleiter-Bauelement mit vorder- und rückseitiger Elektrode und ein Verfahren zu dessen Herstellung.

[0002] Halbleiter-Bauelemente sind elektronische Bauteile, die aus Halbleitermaterialien und/oder aus Strukturen, die aus verschiedenen Halbleitermaterialien, d.h. Materialien verschiedenen Leitfähigkeitstyps, sowie aus Metallen und Isolatoren, bestehen. Deren Wirkungsweise bzw. Funktion beruht auf dem Verhalten, insbesondere der Bewegung, von Ladungsträgern. Dem Stand der Technik nach gibt es eine Vielzahl von Halbleiterbauelementen mit unterschiedlichen Funktionen und damit mit unterschiedlichen Schichtanordnungen, die auf einem Substrat mindestens eine Kontaktschicht für Ladungsträger eines Leitfähigkeitstyps aufweisen, auf der eine oder mehrere aktive Halbleiterschichten und eine weitere Kontaktschicht für Ladungsträger des entgegengesetzten Leitungstyps angeordnet sind.

[0003] Je nach Schichtanordnung in einem Halbleiter-Bauelement und entsprechend seiner Funktion wird der Fachmann Kontakte auf Vorder- und Rückseite des Halbleiter-Bauelements anordnen oder das Halbleiter-Bauelement einseitig kontaktieren, d.h. beide Kontakte auf Vorder- oder Rückseite positionieren. Um eine defektarme Halbleiterschicht zu realisieren, sollten die aufgebrachten Kontakte bei der weiteren Prozessierung des Halbleiter-Bauelements keine unerwünschte Diffusion von Verunreinigungen aus dem Kontaktmaterial bzw. aus dem Substrat nach sich ziehen. Je nach Funktion des Halbleiter-Bauelements sollten auch die Kontakte weiteren Anforderungen genügen, beispielsweise sollten sie eine gute optische Reflexion gewährleisten und die bei der weiteren Prozessierung des Halbleiter-Bauelements eventuell notwendigen hohen Temperaturen überstehen. Für die Realisierung dieser Ziele und zur Verbesserung weiterer ausgewählter Eigenschaften des Halbleiter-Bauelements sind dem allgemeinen Stand der Technik nach auch funktionale Schichten, benachbart angeordnet zu den Kontaktschichten, bekannt.

[0004] Im Folgenden sollen einige dem Stand der Technik nach bekannte Kontaktsysteme für unterschiedliche Halbleiter-Bauelemente-Anordnungen beschrieben werden.

[0005] Beidseitig kontaktierte Halbleiter-Bauelemente können aus p-Typ oder n-Typ leitendem Silizium hergestellt werden. Häufig werden sie als Halbleiter-Diode realisiert, die, wenn mindestens einer der Kontakte lichtdurchlässig ist, als Photodiode (Lichtdetektor) oder als Solarzelle (für die Energieumwandlung) Verwendung findet. Das Silizium wird üblicherweise in Form eines kristallinen Wafers beidseitig

kontaktiert, kann aber auch, wie in dieser Erfindung, als Siliziumschicht auf einem Substrat, aufgebracht werden.

[0006] Eine Möglichkeit für eine Rückseitenkontaktierung für beidseitig kontaktierte Siliziumwafer-Solarzellen ist vom Fraunhofer ISE mit der TOPCon (Tunnel Oxide Passivated Contact) - Technologie realisiert worden (siehe beispielsweise <http://www.bine.info/themen/erneuerbareenergien/photovoltaik/news/weltrekord-fuer-beidseitig-kontaktierte-siliciumsolarzellen/> abgerufen am 09.06.2016 oder Solar Energy Materials & Solar Cells **131** (2014) 100-104). Der erzeugte Rückseitenkontakt ist selektiv und passiviert die Siliziumschicht. Die ganzflächige Passivierungsschicht ist sehr dünn (1 bis 2 nm), so dass die Ladungsträger durch sie tunneln können. Eine auf die Passivierungsschicht ebenfalls ganzflächig aufgebrachte dünne Schicht aus hochdotiertem Silizium ermöglicht in Kombination mit den darunter liegenden Schichten einen verlustfreien Abfluss des Stromes aus der Solarzelle.

[0007] Die meisten Veröffentlichungen aus dem Stand der Technik verfolgen aber den Weg der Strukturierung einer oder mehrerer übereinander angeordneter Schichten für eine verbesserte Kontaktierung des jeweiligen Halbleiter-Bauelements.

[0008] In WO 2013 / 067 998 A1 ist eine beidseitig kontaktierte Halbleiterwafer-Solarzelle mit oberflächenpassivierter Rückseite beschrieben, wobei eine Vorderseitenelektrodenstruktur vorgesehen ist und die Rückseite des Halbleiterwafers mit einer Schicht oberflächenpassiviert ist. Auf der Passivierungsschicht ist eine Rückseitenmetallelektrodenstruktur aufgebracht, die versinterte Metallpartikel enthält. Über eine Vielzahl lokaler Kontaktbereiche, die durch Öffnungen der Passivierungsschicht, die auch als Dünnschicht-Stapel ausgebildet sein kann, realisiert sind, kontaktiert die Rückseitenmetallelektrodenstruktur, die nicht ganzflächig aufgebracht ist, den Halbleiterwafer. Die Öffnungen nehmen eine Fläche von weniger als 5 % der Rückseitenfläche ein.

[0009] Bei dem Halbleiter-Bauelement, das in GB 2 471 732 A beschrieben ist und ebenfalls eine beidseitig kontaktierte waferbasierte Solarzelle betrifft, ist auf der Waferrückseite eine erste dielektrische Schicht aus Siliziumdioxid (SiO_2) und eine zweite dielektrische Schicht aus Siliziumnitrid (SiN_x) angeordnet. Der Wafer weist an seinen Oberflächen auf der Vorder- und auf der Rückseite mittels Dotierung erzeugte, entgegengesetzte Leitfähigkeiten auf. Auf der zweiten dielektrischen Schicht ist eine Opferschicht aufgebracht und darauf eine Metallschicht, die den Rückseitenkontakt bildet. Über Öffnungen in der Kontaktschicht und den beiden dielektrischen Schichten wird der Kontakt mit der rückseitigen Oberfläche definierter Leitfähigkeit des Wafers hergestellt.

Während einer Temperaturbehandlung > 577 °C reagiert die Metallelektrodenschicht und wird gemeinsam mit der Opferschicht geschmolzen, wodurch eine Legierung gebildet wird. Diese Legierung gewährleistet eine sehr gute Adhäsion zwischen der Metallschicht und der Opferschicht einerseits und andererseits zwischen der Opferschicht und der zweiten dielektrischen Schicht.

[0010] In DE 38 15 512 A1 ist eine beidseitig kontaktierte Solarzelle mit verringerter Rekombinationsgeschwindigkeit der Ladungsträger beschrieben. Hierfür ist an der Rückseite des positiv leitenden (p-Typ) Halbleiterkörpers und der Kontaktschicht ganzflächig eine mit Öffnungen versehene Isolationsschicht angeordnet. Ausgehend von den Öffnungen sind in den Halbleiterkörper hinein hochdotierte p⁺-Bereiche ausgebildet. Die Öffnungen sind mit Kontaktmaterial aufgefüllt und bilden einen ohmschen Kontakt zum Halbleiterkörper.

[0011] Bei der in US 2015 / 0 214 391 A1 vorgestellten zweiseitig kontaktierten Solarzelle ist ein Passivierfilm auf der rückseitigen Oberfläche des p-leitenden Si-Substrats angeordnet, der eine Vielzahl von Öffnungen aufweist. Der Passivierfilm ist aus Aluminiumoxid (Al₂O₃) oder Niobdioxid (NbO₂) gebildet. Zusätzlich ist optional zwischen dem Passivierfilm und der rückseitigen Oberfläche des Si-Substrats eine mit einem Gruppen III-Element, beispielsweise Aluminium oder Bor, dotierte Schicht als BSF-Schicht (Back Surface Field) angeordnet. Die rückseitige Elektrode ist mit der rückseitigen Oberfläche des Si-Substrats durch die Vielzahl von punkt- oder linienförmig ausgebildeten Öffnungen verbunden.

[0012] In Solar Energy Materials & Solar Cells **117** (2013) 505-511 wird eine Rückseitenkontaktstruktur für CIGS (Kupfer Indium Gallium Diselenid)-Dünnschicht-Solarzellen beschrieben. Durch Kombination der Passivierung der rückseitigen Oberfläche der Halbleiterschicht mit Nanometer großen lokalen Punktkontakten soll die rückseitige Kontaktfläche reduziert werden. Die Leerlaufspannung konnte so wesentlich im Vergleich zu einer nichtpassivierten rückseitigen Oberfläche der Halbleiterschicht verbessert werden.

[0013] In Solar Energy **77** (2004) 857-863 wird von M.A. Green u.a. ein Punktkontaktschema für eine einseitig kontaktierte Silizium-basierte Dünnschicht-Solarzelle in Superstratkonfiguration beschrieben. Die einseitig kontaktierte Schichtanordnung ist zwar mit aus der Dünnschicht-Technologie bekannten Verfahren herstellbar, aber doch relativ kompliziert, da die Kontakte beider Ladungsträgertyps mittels geeigneter Strukturierungsverfahren voneinander getrennt, verschachtelt, hergestellt werden müssen. Das Verfahren für die Herstellung einer einseitig kontaktierten Dünnschicht-Solarzellen-Anordnung umfasst auch einen Hochtemperaturschritt zur Kristallisation

einer amorphen Silizium-Schicht in eine polykristalline.

[0014] Bei der in US 4 395 583 A beschriebenen Anordnung für einen optimierten Rückseitenkontakt ist die p⁺-Schicht eines p-p⁺-Übergangs mit Löchern versehen. Auf dieser p⁺-Schicht ist eine - ebenfalls mit Mikrolöchern versehene - Metalloxidschicht angeordnet. Auf diese Schicht wird Aluminium aufgebracht, so dass elektrische Kontakte mit der p⁺-Schicht gebildet werden.

[0015] Eine Solarzelle mit einer transparenten Frontelektrode und einer Fensterschicht, einer Absorberschicht sowie einer rückseitigen Elektrode auf einem leitfähigen Substrat ist in US 2009 / 0 301 543 A1 offenbart. Die Solarzelle weist außerdem eine Vielzahl an Kontaktlöchern in dem Substrat auf, die u.a. auch von dem Substrat durch eine isolierende Schicht elektrisch getrennt sein können. Die Kontaktlöcher können auch zur Kontaktierung von einer Frontelektrode einer Zelle mit der rückseitigen Elektrode einer benachbarten Zelle dienen.

[0016] US 2007 / 0 295 399 A1 offenbart eine Solarzelle, in der eine Absorberschicht auf beiden Seiten mit einer Passivierungsschicht versehen ist. In der rückseitigen Passivierungsschicht wird durch erste Punktkontakte mit einem, der Absorberschicht entgegengesetzten, Leitfähigkeitstyp ein erster Kontakt gebildet. Neben diesem wird, ebenfalls durch Punktkontakte, ein zweiter Kontakt gebildet, der elektrisch von dem ersten Kontakt isoliert ist. Die Punktkontakte werden durch mit Metall befüllte Löcher in der Passivierungsschicht gebildet.

[0017] Versetzte Kontaktgitter eingebettet zwischen PN-Übergängen einer Mehrfachsolarzelle offenbart US 2012 / 0 060 908 A1. Die Kontaktgitter bilden dabei eine Kombination aus isolierender und serieller elektrischer Verbindung zwischen den benachbarten Übergängen. Sie sind dabei als Punktkontakte in Verbindung mit leitfähigen Schichten ausgebildet.

[0018] Aufgabe der Erfindung ist es nun, eine weitere Lösung für ein beidseitig kontaktiertes Halbleiter-Bauelement mit einer im Vergleich zum Stand der Technik verbesserten Schichtanordnung für die Rückseitenkontaktierung anzugeben, wodurch die Oberflächen der aktiven Schichten des Halbleiter-Bauelements passiviert sind und gleichzeitig gute optische Eigenschaften gewährleistet werden. Außerdem soll der Rückseitenkontakt für die Prozessierung bestimmter Halbleiter-Bauelemente bis mindestens 1414 °C temperaturstabil sein. Weiterhin soll ein entsprechendes Verfahren zur Herstellung eines solchen Halbleiter-Bauelements angegeben werden.

[0019] Die Aufgabe wird durch die Merkmale der unabhängigen Ansprüche 1 und 11 gelöst.

[0020] Dabei sind bei einem Halbleiter-Bauelement gemäß dem Stand der Technik, aufweisend auf einem Substrat mindestens eine Kontaktschicht für Ladungsträger eines Leitfähigkeitstyps als rückseitige Elektrode, auf der mindestens eine aktive Halbleiterschicht und eine vorderseitige Elektrode angeordnet sind, und zwischen rückseitiger Elektrode und der mindestens einen aktiven Halbleiterschicht mindestens eine Zwischenschicht angeordnet ist, erfindungsgemäß mindestens zwei elektrisch isolierende dielektrische Zwischenschichten und zwischen diesen angeordnet mindestens eine elektrisch leitfähige Schicht aufgebracht, wobei die elektrisch isolierenden dielektrischen Schichten zueinander versetzt angeordnete Kontaktöffnungen aufweisen, so dass die rückseitige Elektrode, die ganzflächig ausgebildet ist, und die mindestens eine aktive Halbleiterschicht elektrisch leitend verbunden sind.

[0021] Ein derartiges Schichtsystem verhindert die Diffusion von Verunreinigungen aus beispielsweise der rückseitigen Elektrode in die mindestens eine aktive Halbleiterschicht und passiviert die rückseitige Oberfläche der mindestens einen aktiven Halbleiterschicht und gewährleistet gleichzeitig gute optische Eigenschaften durch seine Eigenschaften als Bragg-Reflektor. Durch die Bildung eines Rückseitenfeldes in der Schichtanordnung wird auch der elektrische Rückkontakt verbessert. Der Einsatz eines solchen Schichtsystems ist für Halbleiter-Bauelemente unterschiedlichster Funktion möglich, insbesondere in solchen, in denen die genannten Eigenschaften gewährleistet werden sollen.

[0022] Bezüglich der zwischen den beiden dielektrischen Schichten angeordneten elektrisch leitfähigen Schicht ist vorgesehen, diese aus einem höher dotierten Halbleitermaterial als für die mindestens eine aktive Halbleiterschicht zu bilden, wobei die Dotierung zwischen $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ und $1 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ liegt und die Schichtdicke der leitfähigen Schicht zwischen 50 nm und 100 nm beträgt. Die hochdotierte Halbleiterschicht trägt zur Qualitätsverbesserung der rückseitigen Kontaktschicht bei.

[0023] Die folgenden Ausführungsformen der Erfindung betreffen die einzelnen Schichten im Halbleiter-Bauelement.

[0024] So ist vorgesehen, dass die mindestens eine aktive Halbleiterschicht aus kristallinem Silizium gebildet ist. Bevorzugt sei hierfür eine beispielsweise mittels PECVD oder Elektrodenstrahlverdampfung aufgebrauchte und anschließend mittels Flüssigphasenkristallisation erzeugte Si-Schicht genannt. Die Dicke der mindestens einen aktiven Halbleiterschicht beträgt zwischen 5 μm und 40 μm .

[0025] In anderen Ausführungsformen sind das Substrat aus Glas und die rückseitige Elektrode aus

einem hochschmelzenden Metall gebildet oder das Substrat und die rückseitige Elektrode sind durch eine Metallfolie ersetzt.

[0026] Für die rückseitige Elektrode ist vorgesehen, diese aus einem hochschmelzenden Metall, vorzugsweise Molybdän, zu bilden. Ihre Schichtdicke soll zwischen 100 nm und 1 μm betragen.

[0027] Weitere Ausführungsformen betreffen die mindestens zwei dielektrischen Schichten, die aus SiO_x oder SiN_x oder Siliziumoxynitrid (SiO_xN_y) oder Al_2O_3 oder Siliziumkarbid (SiC_x) gebildet sind. Die Schichtdicke der mindestens zwei dielektrischen Schichten beträgt jeweils zwischen 50 nm und 400 nm.

[0028] In Ausführungsformen - betreffend die zueinander versetzten Kontaktöffnungen in den mindestens zwei dielektrischen Schichten - ist vorgesehen, diese punkt- oder linienförmig auszubilden. Die Kontaktöffnungen weisen einen typischen Abstand zueinander von 0,5 μm bis 500 μm auf sowie entsprechend einen Durchmesser von 50 nm bis 50 μm bzw. eine Breite von 50 nm bis 50 μm .

[0029] Weiterhin ist in einer Ausführungsform die dem Substrat abgewandte Oberfläche der mindestens einen aktiven Halbleiterschicht texturiert. Dies dient der verbesserten Einkopplung von Licht in die aktive Halbleiterschicht.

[0030] Mit den Merkmalen der Erfindung lässt sich besonders vorteilhaft eine beidseitig kontaktierte Silizium-Dünnschicht-Solarzelle in Substratkonfiguration ausbilden. Diese Silizium-Dünnschicht-Solarzelle kann dann beispielsweise eine aktive Halbleiterschicht aus flüssigphasenkristallisiertem Silizium eines Leitungstyps aufweisen, die die Absorberschicht bildet, und eine zweite aktive Halbleiterschicht aus Silizium mit einem zur Absorberschicht entgegengesetzten Leitungstyp, die die Emitterschicht bildet. Die rückseitige Elektrode ist eine hochtemperaturbeständige leitfähige Schicht und die vorderseitige Elektrode aus einem transparenten leitfähigen Material gebildet. Zur Verbesserung des Lichteinfangs kann die dem Substrat abgewandte Oberfläche der Absorberschicht texturiert sein.

[0031] Auch für Multi-Junction-Solarzellen kann die beschriebene Schichtanordnung aus ganzflächig ausgebildeter rückseitiger Elektrode und zwei elektrisch isolierenden dielektrischen Zwischenschichten, zwischen denen mindestens eine elektrisch leitfähige Schicht angeordnet ist, wobei die elektrisch isolierenden dielektrischen Schichten zueinander versetzt angeordnete Kontaktöffnungen aufweisen, angewendet werden. Dabei ist die Bottom-Zelle eine Si-basierte Dünnschichtzelle, die Top-Zelle kann dann beispiels-

weise wiederum eine Silizium-Solarzelle sein, aber auch eine Perovskit-Solarzelle.

[0032] Das Verfahren zur Herstellung eines erfindungsgemäßen Halbleiter-Bauelements weist die folgenden Verfahrensschritte auf: Aufbringen einer rückseitigen ganzflächigen Elektrodenschicht auf ein Substrat, danach Herstellen einer ersten elektrisch isolierenden dielektrischen Schicht mit Kontaktöffnungen bis zur darunter liegenden rückseitigen Elektrode, Aufbringen einer elektrisch leitfähigen Schicht auf die erste elektrisch isolierende dielektrische Schicht, anschließendes Herstellen einer zweiten elektrisch isolierenden dielektrischen Schicht mit Kontaktöffnungen bis zur darunter liegenden leitfähigen Schicht, wobei die Kontaktöffnungen in den beiden dielektrischen Schichten zueinander versetzt angeordnet sind, dann Herstellen mindestens einer aktiven Halbleiterschicht und abschließendes Aufbringen einer vorderseitigen Elektrode.

[0033] Dabei kann das Aufbringen der ganzflächigen rückseitigen Elektrodenschicht mittels PVD (physical vapour deposition - physikalische Gasphasenabscheidung) erfolgen. Die erste dielektrische Schicht wird darauf mittels PECVD (plasma enhanced chemical vapour deposition - plasmaunterstützte chemische Gasphasenabscheidung) oder wiederum mittels PVD bei einer Depositionstemperatur im Bereich von 200 °C bis 600 °C aufgebracht. Wie in Ausführungsformen der Erfindung vorgesehen, wird als Material für die erste dielektrische Schicht SiO_x oder SiN_x oder SiO_xN_y oder Al₂O₃ oder SiC_x verwendet und in einer Dicke zwischen 50 nm und 400 nm aufgebracht. Die nun folgende Kontaktöffnung, d.h. das Einbringen von punkt- oder linienförmigen Öffnungen in die erste dielektrische Schicht, kann mittels Laser, Photo- oder Nanoimprintlithographie oder durch Abscheiden von Partikeln auf der Oberfläche der rückseitigen Elektrodenschicht, d.h. vor dem Aufbringen der dielektrischen Schicht, erfolgen. Aber auch Druckverfahren wie Siebdruck und Inkjetdruck können zum Erzeugen der Kontaktöffnungen verwendet werden. Wie in weiteren Ausführungsformen vorgesehen, werden die punktförmigen Kontaktöffnungen mit einem Durchmesser von 50 nm bis 50 µm und einem Abstand zueinander von 0,5 µm bis 500 µm erzeugt und die linienförmigen Kontaktöffnungen mit einer Breite von 50 nm bis 50 µm und einem Abstand zueinander von 0,5 µm bis 500 µm. Danach erfolgt die Abscheidung der elektrisch leitfähigen Schicht mittels PECVD oder Elektronenstrahlverdampfung bei Depositionstemperaturen zwischen 200 °C und 600 °C, für die insbesondere ein höher dotiertes Halbleitermaterial (z.B. auch Silizium) als für die mindestens eine aktive Halbleiterschicht verwendet wird, wobei die Dotierung zwischen $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ und $1 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ liegt und die Schichtdicke dieser leitfähigen Schicht zwischen 50 nm und 100 nm beträgt. Die Verfahrensschritte für das Aufbringen der zwei-

ten dielektrischen Schicht und das Erzeugen der Kontaktöffnungen in dieser Schicht, die zu den Kontaktöffnungen der ersten dielektrischen Schicht versetzt sind, sind analog zu den für die erste dielektrische Schicht beschriebenen Verfahrensschritten. Nun erfolgt das Aufbringen einer Halbleiterschicht. Bezüglich der Halbleiterschicht ist in Ausführungsformen vorgesehen, dass für die Deposition der Halbleiterschicht zunächst eine Si-Schicht mit einer Dicke von 5 µm bis 40 µm mittels PECVD oder Elektronenstrahlverdampfung aufgebracht und anschließend kristallisiert wird. Die Kristallisation der Siliziumschicht erfolgt durch Flüssigphasenkristallisation mittels Laserstrahl an Luft oder im Vakuum oder in einem Inertgas oder mittels Elektronenstrahl im Vakuum. Hierfür sind deshalb hochtemperaturbeständige Schichten zwischen Substrat und Halbleiterschicht notwendig. Auf die zweite Halbleiterschicht, eine Emitterschicht mit zur ersten aktiven Halbleiterschicht entgegengesetztem Leitungstyp, wird eine vorderseitige Elektrodenschicht aus einem transparenten leitfähigen Oxid, beispielsweise Indium-Zinn-Oxid oder Zinkoxid, mittels PVD oder Verdampfung abgeschieden. Zusätzlich kann auch eine Gitter-Struktur als weiterer Bestandteil der vorderseitigen Elektrode aufgebracht werden.

[0034] In einer Ausführungsform ist vorgesehen, nach dem Aufbringen der vorderseitigen Elektrode die rückseitige Elektrode freizulegen.

[0035] Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren ist es nun auch möglich, ein Halbleiter-Bauelement basierend auf flüssigphasenkristallisiertem Silizium als eine aktive Halbleiterschicht auch zweiseitig zu kontaktieren, wodurch das Verfahren einfacher handhabbar und kostengünstiger wird. Die versetzte Positionierung der Öffnungen in den beiden dielektrischen Schichten erfordert weniger Genauigkeit beim Einbringen der Öffnungen, die verwendeten Materialien erlauben auch Verfahrensschritte bei hohen Temperaturen.

[0036] Die Erfindung wird in einem Ausführungsbeispiel anhand der Figuren beschrieben.

[0037] Dabei zeigen

Fig. 1 eine schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen Silizium-Dünnschicht-Solarzelle in Substratkonfiguration;

Fig. 2 eine Draufsicht auf eine mögliche Verteilung von Punktkontakten in den beiden dielektrischen Schichten;

Fig. 3 eine Draufsicht auf eine mögliche Verteilung von linienförmigen Kontakten in den beiden dielektrischen Schichten.

[0038] In der **Fig. 1** ist schematisch eine Silizium-Dünnschicht-Solarzelle in Substratkonfiguration ge-

zeigt, wobei die Absorberschicht **7** aus n-Typ flüssigphasenkristallisiertem Silizium (Schichtdicke 15 µm) und die benachbarte Hetero-Emitterschicht nicht dargestellt - aus einer intrinsischen und einer p-leitenden amorphen wasserstoffhaltigen Siliziumschicht (Schichtdicke der intrinsischen Schicht 5 nm, der p-leitenden Schicht 10 nm) gebildet ist. Die rückseitige Elektrode **2**, also angeordnet auf einem Glassubstrat **1**, ist eine hochtemperaturbeständige leitfähige Schicht und aus Molybdän in einer Dicke von 400 nm gebildet. Zwischen rückseitiger Elektrode **2** und Absorberschicht **7** sind zwei elektrisch isolierende dielektrische Zwischenschichten **3**, **5** mit einer Dicke von jeweils 150 nm und zwischen diesen eine hochdotierte n-leitende Si-Halbleiterschicht **4** mit einer Dicke von 50 nm angeordnet. Die zur Molybdänschicht **2** benachbarte Zwischenschicht **3** ist aus SiO₂ gebildet, die zur flüssigphasenkristallisierten Silizium-Absorberschicht **7** benachbarte Zwischenschicht **5** ebenfalls aus SiO₂. Die hochdotierte Halbleiterschicht **4** ist in diesem Ausführungsbeispiel eine n⁺⁺-dotierte kristalline 50 nm dicke Siliziumschicht, die ebenfalls durch Flüssigphasenkristallisation - in demselben Kristallisationsschritt wie die Absorberschicht - erzeugt ist. Die beiden isolierenden dielektrischen Zwischenschichten **3**, **5** weisen zueinander versetzte Löcher mit einem Durchmesser von 1 µm auf, die Kontaktöffnungen **6** bilden und einen Ladungstransport zwischen der rückseitigen Mo-Elektrode **2** und der n-Typ flüssigphasenkristallisierten Silizium-Absorberschicht **7** gewährleisten. Auf der Hetero-Emitterschicht ist eine vorderseitige Elektroden-schicht - ebenfalls nicht dargestellt - aus einem transparenten leitenden Oxid (TCO), beispielsweise aus Indium-Zinn-Oxid (ITO), und mit einer Dicke von 80 nm angeordnet. Optional kann zusätzlich ein metallisches Elektrodengitter auf der ITO-Schicht angeordnet sein (nicht dargestellt). Außerdem kann die dem Glassubstrat **1** abgewandte Oberfläche der Absorberschicht **7** eine Textur zur Verbesserung des Licht-einfangs aufweisen (ebenfalls nicht dargestellt).

[0039] Die Herstellung der beschriebenen Silizium-Dünnschicht-Solarzellen-Anordnung erfolgt mit den folgenden Verfahrensschritten:

[0040] Auf einem Glassubstrat **1** wird zunächst die rückseitige Elektrode **2** aus Molybdän mittels PVD aufgebracht. Anschließend wird die erste dielektrische Schicht **3** aus SiO₂ bei einer Depositionstemperatur von 200 bis 600 °C aufgebracht. In diese Schicht **3** werden nun punktförmige Öffnungen **6** eingebracht, die einen Durchmesser von 1 µm und einen Abstand zueinander von 100 µm aufweisen. Darauf wird eine leitfähige Schicht **4** mittels PVD abgeschieden, die in diesem Ausführungsbeispiel eine hochdotierte n⁺⁺-Siliziumschicht ist. Auf diese Schicht **4** wird die zweite dielektrische Schicht **5** aus SiO₂ aufgebracht, in die ebenfalls mittels Laser punktförmige Öffnungen **6** eingebracht werden. Dies erfolgt analog zu den Ver-

fahrensschritten, wie sie bereits für die erste dielektrische Schicht **3** beschrieben worden sind. Zu beachten ist hierbei, dass die Öffnungen **6** in der ersten dielektrischen Schicht **3** und die Öffnungen **6** in der zweiten dielektrischen Schicht **5** zueinander versetzt sind, so dass eine Querleitung der Ladungsträger in der hochdotierten Siliziumschicht **4** gewährleistet wird und die rückseitige Elektroden-schicht **2** mit der Absorberschicht **7** der Silizium-Dünnschicht-Solarzellen-Anordnung elektrisch leitend verbunden ist. Für die Erzeugung der n-leitenden kristallinen Siliziumschicht als Absorberschicht **7** wird zunächst eine Siliziumschicht mittels PECVD aufgebracht und anschließend mittels Laser einer Flüssigphasenkristallisation unterzogen. Dabei vermindern die Zwischenschichten **3**, **5** die Diffusion von Verunreinigungen aus der rückseitigen Elektrode **2** in die Absorberschicht **7**. Auf die n-leitende kristalline Siliziumschicht **7** wird die Hetero-Emitterschicht, aufweisend eine intrinsische und eine p-leitende amorphe wasserstoffhaltige Siliziumschicht, mittels PECVD (mit Dicken von 5 und 10 nm entsprechend) aufgebracht. Für die vorderseitige Elektrode wird auf der Hetero-Emitterschicht mittels PVD Indium-Zinn-Oxid aufgebracht. Optional kann die vorderseitige Elektrode ein zusätzliches Elektrodengitter aufweisen. Die Dicke der ITO-Schicht beträgt in diesem Ausführungsbeispiel 80 nm. Ist eine texturierte Oberfläche der Silizium-Dünnschicht-Solarzelle an der lichteinfallenden Seite vorgesehen, wird zunächst die Absorberschicht **7** mittels anisotropen Ätzens strukturiert (z.B. nasschemisch oder trocken mittels Plasma) und die nachfolgenden Schichten werden strukturkonform abgeschieden. Die Freilegung der rückseitigen Elektrode erfolgt mittels Laserabtrag oder Rückätzen (z.B. mittels reaktivem Ionenätzen mit O₂ und SF₆) durch die Schichten hindurch bis zur Mo-Schicht.

[0041] Den Fig. 2 und Fig. 3 ist jeweils eine mögliche Anordnung von punkt- und linienförmigen Anordnungen der Kontaktöffnungen in den beiden dielektrischen Schichten zu entnehmen. Dargestellt ist in beiden Fällen eine periodische Anordnung der Kontaktöffnungen in jeder dielektrischen Schicht (dunkler ausgefüllte Kreise bzw. Linien sind der zur rückseitigen Elektrode benachbart angeordneten dielektrischen Schicht zuzuordnen, heller ausgefüllte der oberen dielektrischen Schicht), die aber - wie bereits beschrieben - zueinander einen Versatz aufweisen. Eine dargestellte periodische Anordnung ist aber nicht zwangsläufig für die Erfindung.

[0042] Bisher sind nur einseitig kontaktierte Solarzellen auf der Basis von flüssigphasenkristallisiertem Silizium bekannt. Mit der erfindungsgemäßen Lösung lässt sich eine technologisch weniger aufwendige Solarzelle realisieren, da das beschriebene Schichtsystem aus mindestens zwei dielektrischen Schichten mit zwischenliegender hochleitender Schicht und in den dielektrischen Schichten zueinander versetzt an-

geordneten Kontaktöffnungen sowohl eine gute Passivierung der Absorberschicht, einen guten elektrischen Kontakt und eine Verringerung der Defekte durch Verminderung von Verunreinigungen aus der Mo-Schicht als auch gute elektrische Eigenschaften gewährleistet. Die erfindungsgemäße Anordnung ermöglicht eine Serienschaltung, wie sie bei Dünnschicht-Bauelementen üblich ist, und benötigt keine verschachtelten Strukturen.

Patentansprüche

1. Halbleiter-Bauelement mit vorder- und rückseitiger Elektrode (2), aufweisend auf einem Substrat (1) mindestens eine Kontaktschicht für Ladungsträger eines Leitfähigkeitstyps als rückseitige Elektrode (2), auf der mindestens eine aktive Halbleiterschicht (7) und eine vorderseitige Elektrode angeordnet sind, und zwischen rückseitiger Elektrode (2) und der mindestens einen aktiven Halbleiterschicht (7) mindestens eine Zwischenschicht (3, 5) angeordnet ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass zwischen rückseitiger Elektrode (2) und der mindestens einen aktiven Halbleiterschicht (7) mindestens eine erste (3) und eine zweite (5) elektrisch isolierende dielektrische Zwischenschicht und zwischen diesen angeordnet mindestens eine elektrisch leitfähige Schicht (4) angeordnet sind und wobei die zwei elektrisch isolierenden dielektrischen Schichten (3, 5) Kontaktöffnungen (6) aufweisen und wobei die Kontaktöffnungen (6) der zweiten elektrisch isolierenden dielektrischen Schicht (5) versetzt angeordnet sind zu denen der ersten elektrisch isolierenden dielektrischen Schicht (3), so dass eine Diffusion von Verunreinigungen aus der rückseitigen Elektrode (2) in die aktive Halbleiterschicht (7) vermindert ist und so dass die rückseitige Elektrode (2), die ganzflächig ausgebildet ist, und die mindestens eine aktive Halbleiterschicht (7) elektrisch leitend verbunden sind und wobei die elektrisch leitfähige Schicht (4) aus einem höher dotierten Halbleiter als die mindestens eine aktive Halbleiterschicht (7) gebildet ist und die Dotierung zwischen $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ und $1 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ liegt.
2. Halbleiter-Bauelement nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die mindestens eine aktive Halbleiterschicht (7) aus kristallinem Silizium gebildet ist.
3. Halbleiter-Bauelement nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die kristalline Siliziumschicht (7) mittels Flüssigphasenkristallisation erzeugt ist und eine Dicke zwischen $5 \mu\text{m}$ und $40 \mu\text{m}$ aufweist.
4. Halbleiter-Bauelement nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Substrat aus Glas (1) und die rückseitige Elektrode (2) aus einem hochschmelzenden Metall gebildet sind.
5. Halbleiter-Bauelement nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Substrat (1) und die rückseitige Elektrode (2) durch eine Metallfolie ersetzt sind.
6. Halbleiter-Bauelement nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die mindestens zwei dielektrischen Schichten (3, 5) aus SiO_x oder SiN_x oder SiO_xN_y oder Al_2O_3 oder SiC_x gebildet sind.
7. Halbleiter-Bauelement nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Schichtdicke der mindestens zwei dielektrischen Schichten (3, 5) jeweils zwischen 50 nm und 400 nm beträgt.
8. Halbleiter-Bauelement nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Schichtdicke der elektrisch leitfähigen Schicht (4) zwischen 50 nm und 100 nm beträgt.
9. Halbleiter-Bauelement nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zueinander versetzten Kontaktöffnungen (6) in den mindestens zwei dielektrischen Schichten (3, 5) punkt- oder linienförmig ausgebildet sind und einen typischen Abstand zueinander von $0,5 \mu\text{m}$ bis $500 \mu\text{m}$ aufweisen sowie entsprechend einen Durchmesser von 50 nm bis $50 \mu\text{m}$ bzw. eine Breite von 50 nm bis $50 \mu\text{m}$.
10. Halbleiter-Bauelement nach Anspruch 1 und mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Halbleiter-Bauelement als Silizium-Dünnschicht-Solarzelle in Substratkonfiguration ausgebildet ist.
11. Verfahren zur Herstellung eines Halbleiter-Bauelements gemäß Anspruch 1, aufweisend die folgenden Verfahrensschritte:
 - Aufbringen einer rückseitigen vollflächigen Elektroden-schicht (2) auf ein Substrat (1),
 - danach Herstellen einer ersten elektrisch isolierenden dielektrischen Schicht (3) mit Kontaktöffnungen (6) bis zur darunter liegenden rückseitigen Elektrode,
 - Aufbringen einer elektrisch leitfähigen Schicht (4) auf die erste elektrisch isolierende dielektrische Schicht (3), wobei die elektrisch leitfähige Schicht (4) aus einem höher dotierten Halbleiter als eine aktive Halbleiterschicht (7) gebildet ist und die Dotierung zwischen $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ und $1 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ liegt,
 - anschließendes Herstellen einer zweiten elektrisch isolierenden dielektrischen Schicht (5) mit Kontaktöffnungen (6) bis zur darunter liegenden leitfähigen Schicht (4), wobei die Kontaktöffnungen (6) der zweiten elektrisch isolierenden dielektrischen Schicht (5) versetzt angeordnet sind zu denen der ersten elektrisch isolierenden dielektrischen Schicht (3), so dass eine Diffusion von Verunreinigungen aus der rückseitigen Elektrode (2) in eine aktive Halbleiterschicht (7) vermindert ist,

- dann Herstellen mindestens einer aktiven Halbleiterschicht (7) und
- abschließendes Aufbringen einer vorderseitigen Elektrode.

12. Verfahren nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass als Material für die beiden dielektrischen Schichten (3, 5) SiO_x oder SiN_x oder SiO_xN_y oder Al_2O_3 oder SiC_x verwendet wird.

13. Verfahren nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass die mindestens zwei dielektrischen Schichten (3, 5) jeweils mit einer Schichtdicke zwischen 50 nm und 400 nm aufgebracht werden.

14. Verfahren nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass nach dem Aufbringen der vorderseitigen Elektrode die rückseitige Elektrode (2) freigelegt wird.

15. Verfahren nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass für die Herstellung der aktiven Halbleiterschicht (7) zunächst eine dünne Si-Schicht mit einer Dicke von 5 μm bis 40 μm aufgebracht und anschließend durch Flüssigphasenkristallisation mittels Laserstrahl an Luft oder in einem Inertgas oder im Vakuum oder mittels Elektronenstrahl kristallisiert wird.

16. Verfahren nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Kontaktöffnungen (6) in den beiden elektrisch isolierenden dielektrischen Schichten (3, 5) punktförmig oder linienförmig mit einem Abstand zueinander von 0,5 μm bis 500 μm und einem Durchmesser oder einer Breite entsprechend von 50 nm bis 50 μm ausgeführt werden.

17. Verfahren nach Anspruch 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass die punkt- oder linienförmigen Kontaktöffnungen (6) in den beiden elektrisch isolierenden dielektrischen Schichten (3, 5) mittels Laser oder Photo- oder Nanoimprintlithographie oder via Nanopartikelabscheidung und anschließendem Ätzen aufgebracht werden.

Es folgt eine Seite Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig. 2

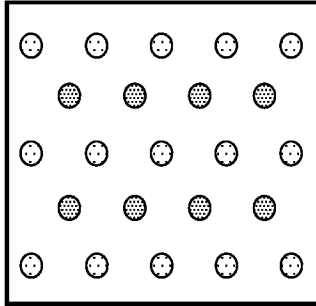


Fig. 3

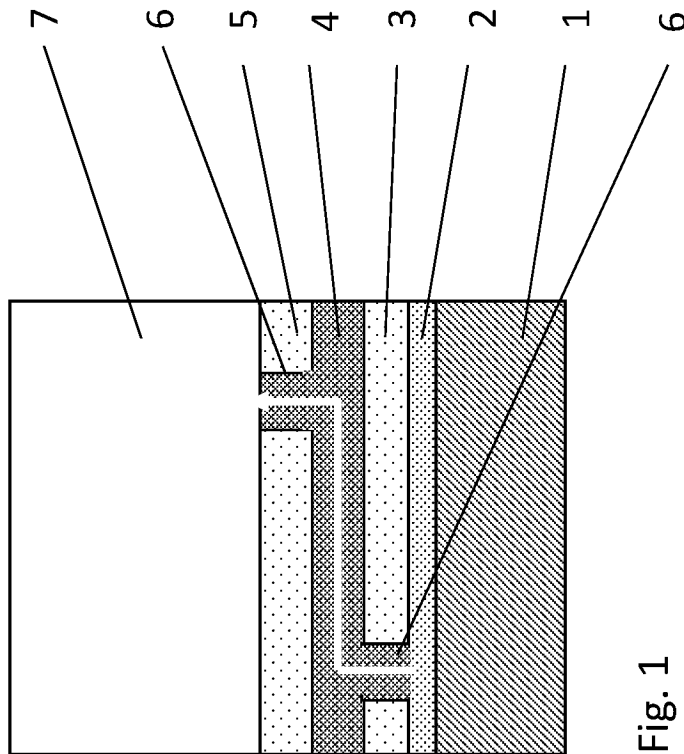
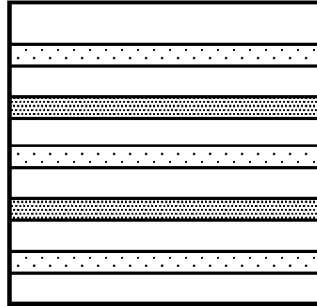


Fig. 1